高性能阻隔膜对新制蒸汽压片玉米储存过程防霉效果的研究

周 涛 李德勇 张亚伟 和立文 孟庆翔 周振明*

（中国农业大学动物科技学院，动物营养学国家重点实验室，北京 100193）

摘 要：本试验利用普通隔膜和高性能阻隔膜材料储存新制蒸汽压片玉米，检测不同保存时间点蒸汽压片玉米的霉变情况，探讨利用高性能组隔膜储存新制蒸汽压片玉米的可行性。试验以不密封的普通隔膜储存新制蒸汽压片玉米为未密封普通隔膜组，以密封的普通隔膜储存新制蒸汽压片玉米为密封普通隔膜组，以密封的高性能阻隔膜储存新制蒸汽压片玉米为高阻隔膜组。将各组新制蒸汽压片玉米分别在储存 0、7、14、21、28、42、56 d 后取出，进行感官评价并测定其化学成分含量、脂肪酸值及黄曲霉素 B_1（AFB_1）、玉米赤霉烯酮（ZEA）和呕吐毒素（DON）含量。结果表明：1）随着储存时间的延长，未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组相继出现霉变现象，高阻隔膜组储存至 56 d 时尚未出现霉变现象。2）随着储存天数的增加，不同膜处理的蒸汽压片玉米的粗脂肪、可溶性淀粉含量和淀粉糊化度呈降低趋势，粗灰分、粗蛋白质、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量在储存期间均没有显著变化（P>0.05）。3）储存时间对蒸汽压片玉米的脂肪酸值存在极显著的影响（P<0.01），高阻隔膜组蒸汽压片玉米的脂肪酸值增长最为缓慢，储存至 56 d 时其脂肪酸值为 10.54 mg/kg。4）在储存期间，蒸汽压片玉米的 AFB_1、ZEA 含量随储存时间延长呈显著上升趋势（P<0.05），各组呕吐毒素含量没有显著差异（P>0.05）；储存至 56 d 时，未密封普通隔膜组、密封普通隔膜组、高阻隔膜组的 AFB_1、ZEA 和 DON 含量分别为 1.03、0.73、0.01 μg/L，181.13、170.49、148.19 μg/L 和 1.23、1.23、1.20 μg/mL。由此可见，高性能阻隔膜能够有效抑制霉菌生长，延缓脂肪酸败，使新制蒸汽压片玉米安全储存至 56 d。

关键词：高性能阻隔膜；新制蒸汽压片玉米；感官评价；化学成分；脂肪酸值；霉菌毒素含量

中图分类号：S816.2 文献标识码： 文章编号：

收稿日期：2016-04-14
基金项目：国家肉牛牦牛产业技术体系（CARS-38）；北方玉米秸秆产业化处理及其养殖肉牛关键技术研究与示范（20150314）；
作者简介：周 涛（1991-），男，吉林吉林市人，硕士研究生，从事反刍动物营养与饲料研究。E-mail：oatouhz@163.com
*通信作者：周振明，副教授，硕士生导师，E-mail： zhouzm@cau.edu.cn

蒸汽压片技术是一种谷物湿热加工工艺，该技术通过湿热处理和物理机械力剪切作用，实现了玉米内淀粉颗粒的暴露和蛋白质空间结构的改变，增大了淀粉颗粒、蛋白质与瘤胃消化液的接触面积，更易接受酶的作用，有利于动物的吸收和利用[1-5]。有研究报道，经蒸汽压片处理的玉米，其淀粉和有机物的小肠消化率可提高 10%～20%[1]，与干碾压方法相比，玉米净能值增加了 13%～19%[4,6]。对于反刍动物而言，蒸汽压片处理是目前最为适宜的玉米加工方式，已大规模的应用于奶牛、肉牛等反刍动物生产中。现代工业化生产的新制蒸汽压片玉米的含水量较高（20%左右）[1,7]，直接保存极易发生霉变，产生黄曲霉毒素 B_1(aflatoxin B_1，AFB_1)、呕吐毒素（deoxynivalenol，DON）和玉米赤霉烯酮（zearalenone，ZEA）等多种有害毒素[7-9]，家畜食用后会严重影响畜产品的品质，甚至威胁到动物的健康[10-12]。目前，工业生产中常用的储存方法有烘干保存或添加丙酸等有机酸作为防霉剂，虽然有一定的防霉效果，但存在浪费能量、增加成本、储存时间短、降低营养价值和影响饲料适口性等缺点，限制了蒸汽压片玉米在我国的推广应用[7-8,13-16]。因此，寻找一种好的储存蒸汽压片玉米的方式有着非常重要的意义。

由三菱化学（中国）商贸有限公司生产的高性能阻隔膜（high performance barrier films，HPBF）是由气体阻隔性很强的材料与热缝合性、水分阻隔性很强的聚烯烃加工而成，具有多层结构。高性能阻隔膜除具有较高的水蒸汽阻隔性外，还能有效阻隔氧气和二氧化碳等其他气体，封装后膜内空间可产生无氧环境。同时，通过改进生产工艺，高性能阻隔膜还可具有耐热、耐高温等功能，这为高性能阻隔膜在储存新制湿热蒸汽压片玉米上的应用提供了理论基础。本试验拟利用高性能阻隔膜材料保存新制的蒸汽压片玉米，检测在储存期间蒸汽压片玉米的营养价值变化和霉变情况，探讨利用高性能阻隔膜保存新制蒸汽压片玉米产品的可能性，以更加安全、高效、经济的方式储存新制蒸汽压片玉米湿样，为其在畜牧行业中推广应用提供更多的可能。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新制蒸汽压片玉米：采自包头市北辰饲料科技有限公司土右旗分公司（加工参数为：温度 102 ℃，蒸汽罐压力 0.32 MPa，温湿处理 60 min）；试验用高性能阻隔膜包装袋（350 mm×220 mm）：由三菱化学（中国）商贸有限公司提供；普通隔膜（general plastic films，GPF）包装袋（350 mm×220 mm）：采用试验用 9 号自封袋，购自北京智博鼎盛生物科技有限公司。

1.2 试验方法

采用单因素试验设计，共设 3 个处理和 7 个测定时间点，每种处理每个时间点设 3 个平行。各处理分别为高性能阻隔膜组（以下简称高阻隔膜组）、密封普通隔膜组和未密封普通隔膜组。高阻隔膜组和密封普通隔膜组分别使用高性能阻隔膜和普通隔膜密封包装；未密封普通隔膜组使用普通隔膜包装，但不密封。新制蒸汽压片玉米湿样取自内蒙古北辰饲料有限公司，直接由碾压滚轮下接取约 60 kg，不经冷却烘干，分为 3 等份，按 3 种处理进行分装，每袋压片玉米重约 1 kg，新制蒸汽压片玉米的常规化学成分含量见表 1。将分装好的新制蒸汽压片玉米运至中国农业大学肉牛研究中心饲料储藏室储存（储存温度 16～20 ℃，相对湿度 45%～65%），分别在试验的第 0、7、14、21、28、42、56 天从各处理随机抽取 3 袋封装玉米，四分法取适量样品制成风干样，标号备用。

表 1　新制蒸汽压片玉米的常规化学成分含量

Table 1　The routine chemical component content of fresh steam-flaked corn　　%

项目 Items	含量 Content
干物质 DM	81.49
粗灰分（干物质基础） Ash (DM basis)	1.20
粗脂肪（干物质基础） EE (DM basis)	3.79
粗蛋白质（干物质基础） CP (DM basis)	9.42
中性洗涤纤维（干物质基础） NDF (DM basis)	8.42
酸性洗涤纤维（干物质基础） ADF (DM basis)	2.37
可溶性淀粉（干物质基础） Soluble starch (DM basis)	31.92
淀粉糊化度（干物质基础） Starch gelatinization (DM basis)	39.26

1.2.1　感官指标评定

在每个试验点的每次制样之前，根据《饲料分析及饲料质量检测技术（3 版）》[17]推荐方法对各处理蒸汽压片玉米的外观色泽、气味及霉变情况进行感官质量评价。

1.2.2　常规化学指标的测定

按照《饲料分析及饲料质量检测技术（3 版）》[17]推荐的方法，测定水分、干物质（DM）、粗灰分（Ash）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量，EE 含量使用 ANKOM 全自动脂肪抽提仪进行测定；NDF、ADF 含量使用 ANKOM 全自动纤维分析仪进行测定。粗蛋白质（CP）含量按照 GB/T 24318—2009[18]的方法测定；淀粉含量及糊化度按照熊易强[19]推荐的方法进行测定。

1.2.3　脂肪酸值的测定

未密封普通隔膜组、密封普通隔膜组和高阻隔膜组各时间点蒸汽压片玉米脂肪酸值按照 NY/T 2333—2013《粮食、油料脂肪酸值测定》[20]的方法测定。

1.2.4　霉菌毒素含量的测定

试验采用酶联免疫吸附试验（ELISA）法测定蒸汽压片玉米中的霉菌毒素含量。购买ROMER国际贸易（北京）有限公司AgraQuant黄曲霉毒素B_1检测试剂盒（2~50 μg/L）、呕吐毒素检测试剂盒（0.25/5.00 μg/mL）和玉米赤霉烯酮检测试剂盒（25~1 000 μg/L），分别按照其说明书方法测定黄曲霉毒素B_1、呕吐毒素和玉米赤霉烯酮含量。

1.3　统计分析

试验数据先由Excel 2010软件进行初步整理及绘图，再由SAS 9.2进行双因子方差分析，平均值进行Duncan氏法多重比较。

2　结　果

2.1　储存期间不同包装处理的新制蒸汽压片玉米的感官指标

储存7 d时，各组均无霉变现象，色泽艳黄，具有蒸汽压片玉米特有的鲜香味；未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组膜内空气较多，高阻隔膜组包装薄膜收缩更为紧密，蒸汽压片玉米颗粒间空气较少。储存14 d时，未密封普通隔膜组膜内蒸汽压片玉米与空气接触部分及蒸汽压片玉米表层已有少量的黄褐色霉菌生长，开袋后有轻微的霉味；高阻隔膜组和密封普通隔膜组均无明显的霉变现象，开袋后蒸汽压片玉米色泽艳黄，具有明显的鲜香味。储存21 d时，未密封普通隔膜组膜内蒸汽压片玉米表层大面积出现霉菌生长现象，霉味明显；密封普通隔膜组蒸汽压片玉米表层与隔膜接触部位出现少量霉菌生长，霉味不明显；高阻隔膜组无明显的霉变现象，与之前相比无明显变化。储存28 d时，未密封普通隔膜组蒸汽压片玉米霉变由表层开始向内部扩散，霉味加重；密封普通隔膜组蒸汽压片玉米表层霉变面积呈扩增趋势；高阻隔膜组仍无明显变化。储存至56 d时，未密封普通隔膜组蒸汽压片玉米已完全霉变，呈墨绿色，有结块现象，开袋后菌丝飞舞，可闻到十分严重的霉味；密封普通隔膜组蒸汽压片玉米表层霉菌生长十分明显，开袋后可闻到明显的霉味，稍显潮湿；高阻隔膜组仍未出现霉变现象，开袋后颜色艳黄，有蒸汽压片玉米的鲜香味，薄膜内无胀气现象。

2.2　储存期间不同包装处理的新制蒸汽压片玉米的化学成分

储存期间各组各时间点化学成分如表2所示。不同膜处理、不同储存时间的各组蒸汽压片玉米的Ash、CP、NDF、ADF含量均没有显著差异(P<0.05)。

膜处理和储存时间对蒸汽压片玉米的DM含量有极显著的影响(P<0.01)。在储存期间，高阻隔膜组DM含量在3组中最低，为80.95%，显著低于其他2组(P<0.05)。各储存时间点蒸汽压片玉米的DM含量存在差异，但并不随储存时间的延长呈规律性变化。

膜处理和储存时间均对蒸汽压片玉米的EE含量有极显著的影响(P<0.01)。随着储存时

间的延长，EE 含量呈明显的降低趋势，56 d 时达到 2.96%。在储存期间，密封普通隔膜组 EE 含量最低(3.35%)，高阻隔膜组 EE 含量最高（3.95%）。

储存时间对蒸汽压片玉米的可溶性淀粉含量和淀粉糊化度有极显著的影响(P<0.01)，随着储存时间的延长，可溶性淀粉含量和淀粉糊化度均呈降低趋势。膜处理对蒸汽压片玉米的可溶性淀粉含量和淀粉糊化度也有显著影响(P<0.05)，在储存期间高阻隔膜组可溶性淀粉含量和淀粉糊化度均最高（分别为 28.87%，38.94%），其次为未密封普通隔膜组（分别为 28.12%，37.81%），密封普通隔膜组最低（分别为 27.70%，37.63%）。

表 2　储存期间各组新制蒸汽压片玉米的化学成分（干物质基础）

Table 2　Chemical components of fresh steam-flaked corn in each group during storage （DM basis）　%

项目 Items	膜处理 Film treatment			储存时间 Storage time/d						SEM	*P* 值 *P*-value	
	未密封普通隔膜 USGPF	密封普通隔膜 SGPF	高性能阻隔膜 HPBF	7	14	21	28	42	56		储存时间 Storage time	膜处理 Film treatment
干物质 DM	81.28^{a}	81.35^{a}	80.95^{b}	81.26^{b}	80.88^{cd}	81.15^{bc}	80.74^{d}	81.70^{a}	81.45^{ab}	0.11	<0.01	<0.01
粗灰分 Ash	1.18	1.18	1.14	1.19	1.16	1.12	1.19	1.15	1.17	0.01	0.55	0.37
粗脂肪 EE	3.45^{b}	3.35^{c}	3.95^{a}	4.07^{a}	4.01^{a}	3.76^{b}	3.56^{c}	3.16^{d}	2.96^{e}	0.02	<0.01	<0.01
中性洗涤纤维 NDF	8.75	8.81	8.72	8.67	8.71	8.87	8.76	8.80	8.73	0.07	0.72	0.53
酸性洗涤纤维 ADF	2.43	2.40	2.45	2.36	2.45	2.46	2.44	2.40	2.44	0.02	0.49	0.48
可溶性淀粉 Soluble starch	28.12^{b}	27.70^{b}	28.87^{a}	30.53^{a}	30.62^{a}	29.60^{a}	26.80^{b}	26.45^{b}	26.50^{b}	1.62	<0.01	0.03
淀粉糊化度 Starch gelatinization	37.81^{ab}	37.63^{b}	38.94^{a}	39.93^{a}	40.05^{a}	39.19^{a}	36.77^{b}	36.43^{b}	36.40^{b}	2.86	<0.01	0.05
粗蛋白质 CP	8.87	8.78	8.79	8.85	8.83	8.81	8.87	8.81	8.72	0.02	0.37	0.14

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.3　储存期间不同包装处理的新制蒸汽压片玉米的脂肪酸值

储存期间各组脂肪酸值见表 3。储存天数对蒸汽压片玉米的脂肪酸值存在极显著的影响（P<0.01）。密封普通隔膜组蒸汽压片玉米的脂肪酸值随储存时间变化较为明显，储存 7 d 时已经增长到 7.97 mg/kg，在 21 d 时脂肪酸值达到最高水平（36.78 mg/kg），随后开始降低。未密封普通隔膜组蒸汽压片玉米的脂肪酸值在储存 14 d 时达到了 6.13 mg/kg，28 d 时达到了最高水平（28.62 mg/kg），随后也呈现降低趋势。高阻隔膜组蒸汽压片玉米的脂肪酸值增

长相对缓慢，在储存 28 d 时才达到 7.23 mg/kg。

表 3　各组新制蒸汽压片玉米不同储存时间的脂肪酸值（干物质基础）

Table 3　Fatty acid value of fresh steam-flaked corn in each group during different storage time (DM basis)

KOH mg/kg

储存时间 Storage time/d	未密封普通隔膜组 USGPF group	密封普通隔膜组 SGPF group	高阻隔膜组 HPBF group	SEM	*P* 值 *P*-value
7	2.94^{b}	7.97^{a}	2.94^{b}	0.23	<0.01
14	6.13^{b}	17.95^{a}	5.06^{b}	1.32	<0.01
21	12.74^{b}	36.78^{a}	6.45^{b}	2.67	<0.01
28	28.62^{a}	31.91^{a}	7.23^{b}	2.20	<0.01
42	23.10^{b}	28.56^{a}	9.60^{c}	0.85	<0.01
56	24.10^{a}	29.84^{a}	10.54^{b}	1.46	<0.01

2.4　储存期间不同包装处理的新制蒸汽压片玉米的霉菌毒素含量

由表 4 可知，储存时间对蒸汽压片玉米的黄曲霉毒素 B_1 含量有极显著的影响（$P<0.01$）。在储存 0 d 时，各组均未检出黄曲霉毒素 B_1；56 d 时黄曲霉毒素 B_1 含量达到 1.26 μg/L。膜处理对黄曲霉毒素 B_1 含量存在极显著影响（$P<0.01$），在储存期间，未密封普通隔膜组黄曲霉毒素 B_1 含量最高，为 1.03 μg/L；密封普通隔膜组次之（0.73 μg/L），高阻隔膜组最低（0.01 μg/L）。

储存时间对蒸汽压片玉米的玉米赤霉烯酮含量存在显著影响（$P<0.05$），0 d 时检测出玉米赤霉烯酮含量为 152.15 μg/L，56 d 时达到 194.85 μg/L。膜处理对玉米赤霉烯酮含量也有显著影响（$P<0.05$），储存期间未密封普通隔膜组、密封普通隔膜组及高阻隔膜组玉米赤霉烯酮含量分别为 181.13、170.49 和 148.19 μg/L。

在储存期间，储存时间对蒸汽压片玉米的呕吐毒素含量不存在显著影响（$P>0.05$），储存 56 d 时，呕吐毒素含量由 0 d 时的 1.18 μg/mL 变为 1.25 μg/mL。膜处理同样对蒸汽压片玉米的呕吐毒素含量没有显著影响（$P>0.05$），未密封普通隔膜组、密封普通隔膜组和高阻隔膜组呕吐毒素含量分别为 1.23、1.23 和 1.20 μg/mL。

表 4　储存期间各组霉菌毒素含量（干物质基础）

Table 4　The content of mycotoxin in each groups during storage (DM basis)

项目 Items	膜处理 Film treatment			储存时间 Storage time/d					SEM	*P* 值 *P*-value	
	未密封普通隔	密封普通隔膜	高性能阻隔膜	0	14	28	42	56		储存时间	膜处理

	膜 USGPF	SGPF	HPBF							Storage time	Film treatment
黄曲霉毒素 B_1 AFB_1/(μg/L)	1.03[a]	0.73[b]	0.01[c]	-	0.04[d]	0.62[c]	1.03[b]	1.26[a]	0.21	<0.01	<0.01
玉米赤霉烯酮 ZEA/(μg/L)	181.13[a]	170.49[ab]	148.19[b]	152.15[b]	152.70[b]	165.75[ab]	167.58[ab]	194.85[a]	31.60	<0.05	<0.05
呕吐毒素 DON/(μg/mL)	1.23	1.23	1.20	1.18	1.19	1.27	1.21	1.25	0.12	0.52	0.71

-表示未检出。

- means no texted.

3 讨 论

3.1 不同包装处理的新制蒸汽压片玉米感官指标的差异分析

未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组随着储存时间的延长都陆续出现霉菌生长现象。未密封普通隔膜组蒸汽压片玉米与空气接触面积大，在 14 d 时就有霉菌开始生长。普通隔膜能起到一定的阻隔空气的作用，因此表层霉菌生长速度比未密封普通隔膜组慢。高阻隔膜组的包装与其他 2 组相比更为紧实，这可能是由于装袋封口时压片玉米为新制湿热状态，冷却后袋内压强降低的原因，同时也说明高性能阻隔膜具有良好的热缩性和热稳定性；储存至 56 d 时，高阻隔膜组蒸汽压片玉米仍未发生霉变，说明高阻隔膜封装后可有效隔绝外界空气的进入，具有良好的气体阻隔性能。

3.2 不同包装处理的新制蒸汽压片玉米化学成分的差异分析

在储存期间，高阻隔膜组蒸汽压片玉米的 DM 含量最低，水分含量最高，而另外 2 组水分含量则较低，这可能是由于未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组霉菌活动消耗掉了样品中的水分[21]。

随着储存时间的延长，未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组蒸汽压片玉米的 EE 和可溶性淀粉含量均明显降低，这是由于随着储存时间的延长，霉菌开始滋生并大量繁殖，而 EE 和可溶性淀粉是霉菌生长所利用的主要营养物质[21-22]，因此明显降低。高阻隔膜组 EE 和可溶性淀粉含量最高，未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组较低，表明高阻隔膜组霉菌活动较弱，而另外 2 组霉菌活动则较强。

此外，可溶性糖含量降低，蒸汽压片玉米的葡萄糖释放量下降，从而导致淀粉糊化度降低，该趋势与张亚伟等[7]研究结果相一致。试验中 Ash、CP、NDF、ADF 含量在储存期间均没有明显变化，此结果与魏金涛等[21]、Bartov 等[22]研究结果相一致。

与未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组相比，高阻隔膜组EE和可溶性淀粉含量的下降趋势较为缓慢，其含量分别至储存28和21 d时较其余2组便有了显著的差异，说明高阻隔膜组蒸汽压片玉米未被霉菌感染或感染程度不严重，表现出良好的抑制霉菌生长的作用，这与感官试验结果相吻合。

3.3　不同包装处理的新制蒸汽压片玉米脂肪酸值的差异分析

谷物或油料作物中的脂类营养物质在储存过程中由于微生物、酶和热等因素影响发生缓慢水解会产生游离脂肪酸，因此脂肪酸值（也称"酸价"）常作为谷物或油料作物储存过程中是否发生酸败的指标。脂肪酸值越小，说明酸败程度越低，储存过程中的损失就越小。试验结果显示各组蒸汽压片玉米脂肪酸值升高，表明各组蒸汽压片玉米已经被霉菌感染，玉米中的脂肪被霉菌产生的解脂酶水解产生了游离脂肪酸[21]。GB/T 20570—2006《玉米储存品质判定规则》将脂肪酸值≤5.00 mg/kg的玉米判定为宜储存，将脂肪酸值≤7.80 mg/kg的玉米判定为轻度不宜储存，将脂肪酸值>7.80 mg/kg的玉米判定为重度不宜储存[23]。由本试验结果可知，未密封普通隔膜组蒸汽压片玉米在14 d时脂肪酸值已经达到6.13 mg/kg，密封普通隔膜组在储存7 d时也已经达到7.97 mg/kg，已经不适宜继续储存；而高阻隔膜组蒸汽压片玉米脂肪酸值在28 d时才达到7.23 mg/kg，说明使用高性能阻隔膜包装新制蒸汽压片玉米能有效抑制脂肪酸值的增长。其原因可能是高性能阻隔膜能够有效阻挡氧气的进入，从而使霉菌的生长繁殖受到抑制。

未密封普通隔膜组和密封普通隔膜组脂肪酸值先升高后降低，此结果与魏金涛等[21]和和胡元森等[24]研究所得玉米霉变脂肪酸值变化曲线趋势相一致。前期脂肪酸值升高是由于脂肪被水解为脂肪酸，后期脂肪酸值有所降低可能是由于脂肪酸挥发或被霉菌等微生物吸收利用的原因。密封普通隔膜组脂肪酸值升高速度比未密封普通隔膜组快，这与化学分析中密封普通隔膜组压片玉米粗脂肪含量低于未密封普通隔膜组的结果一致。其原因可能是由于密封的普通隔膜阻隔气体的性能较差，一方面使部分空气进入导致霉菌增长，另一方面又阻碍了气体的流通，导致压片玉米内部出现局部温度升高，加快了脂肪的酸败。此外，密封的普通隔膜组压片玉米局部氧气匮乏，在厌氧菌的活动下也会进行厌氧发酵，产生乳酸等产物，导致脂肪酸值的升高。

3.4　不同包装处理的新制蒸汽压片玉米的霉菌毒素含量差异分析

由本试验结果可知，蒸汽压片玉米的黄曲霉毒素B_1含量随着储存时间的延长呈增长趋势，但是增加量不大，蒸汽压片玉米表观霉变严重，但黄曲霉毒素B_1含量不高，此结果与魏金涛等[21]、齐德生等[25]和黄亚宽等[26]试验所得出的结果一致。各组中，未密封普通隔膜

组黄曲霉毒素B_1含量(1.03 μg/L)高于密封普通隔膜组(0.73 μg/L)和高阻隔膜组(0.01 μg/L)，说明未密封普通隔膜组黄曲霉生长较快，这与感官观察的现象一致。我国《食品安全国家标准》中规定玉米及玉米制品中黄曲霉毒素B_1含量不得超过 20 μg/L[27]，本试验测得储存至 56 d 时未密封普通隔膜组、密封普通隔膜组和高阻隔膜组中蒸汽压片玉米黄曲霉毒素B_1含量都未超过此标准。但高阻隔膜组中黄曲霉毒素B_1含量在储存至 56 d 时才检测出为 0.22 μg/L，表明高性能阻隔膜与普通隔膜相比，能更好地抑制黄曲霉毒素B_1的产生，具有长期安全保存蒸汽压片玉米的潜力。试验所测蒸汽压片玉米中黄曲霉毒素B_1含量低于魏金涛等[21]所测结果（5~20 μg/L），原因可能是魏金涛等[21]所用原料为未经加工玉米，而本试验所用材料为新制蒸汽压片玉米，原料玉米上的黄曲霉可能在蒸汽压片过程中被高温蒸汽灭活。

玉米赤霉烯酮是由禾木镰刀霉菌属产生的次级代谢产物，主要影响动物雌性激素的产生和生殖系统健康，饲料中玉米赤霉烯酮超标会引起雌性激素综合征，对动物尤其是猪的危害非常大[28-30]。蒸汽压片玉米中玉米赤霉烯酮含量随储存时间的延长呈上升趋势，但上升速度缓慢，其原因可能是由于玉米赤霉烯酮是田间毒素，产生玉米赤霉烯酮的禾谷镰刀菌等霉菌的生长和产毒的影响因素很多，在实验室条件下不宜产生，或储存时间过短玉米赤霉烯酮毒素还未大量产生。本试验中玉米赤霉烯酮增长缓慢的试验结果与魏金涛等[21]所得结果相符。我国《饲料卫生标准》中规定玉米中赤霉烯酮含量不得超过 500 μg/L[31]，本试验所测各组中玉米赤霉烯酮含量都未超过此标准。

呕吐毒素是由禾木镰刀菌产生的 B 型单端孢霉烯族化合物，具有非常高的的毒性，可引起动物肾脏病变并产生呕吐症状，主要产生在玉米、小麦、大麦等谷物中[32-33]。由本试验结果可知，各组间呕吐毒素含量无显著差异，储存期间呕吐毒素含量在无显著变化。我国制定了部分配合饲料中呕吐毒素的限量标准，要求猪、犊牛和泌乳期动物配合饲料中呕吐毒素限量 1 μg/mL，牛、家禽配合饲料中呕吐毒素限量 5 μg/mL，但我国未制定饲料原料（除干酒糟及其可溶物外）中呕吐毒素限量标准[34-35]。美国食品与药品管理局（FDA）对呕吐毒素提出了建议容忍限量：1）猪和其他动物饲料中原料的谷物及谷类副产品为 5 μg/mL；猪饲料为 1 μg/mL；其他动物饲料为 2 μg/mL；2）食用牛、4 个月以上的饲育牛及肉鸡的饲料原料中的谷物及谷类副产品为 10 μg/mL；食用牛、4 个月以上的饲育牛及肉鸡的饲料为 5 μg/mL [36-37]。本试验中各组呕吐毒素含量在 0.92~1.52 μg/mL 之间，0 d 时各组呕吐含量已经超过 1 μg/mL，说明加工蒸汽压片玉米的原料玉米已经被真菌感染并产生了呕吐毒素。甄阳光等[32]研究成果也显示，我国 11 个省 1 018 个饲料原料样品中呕吐毒素的检出率达 95.8%，超标率（限值 1 μg/mL）达 17.7%，说明我国饲料原料中感染呕吐毒素现象较为普遍。

在各组中，储存期间呕吐毒素含量没有明显变化，黄曲霉毒素 B_1 和玉米赤霉烯酮含量会逐渐升高；但在储存期间高阻隔膜组黄曲霉毒素 B_1 和玉米赤霉烯酮含量均最低，说明高性能阻隔膜包装玉米有较好的防霉效果，能够有效抑制霉菌生长。

4 结 论

① 随着储存时间的延长，不同包装处理的新制蒸汽压片的 EE、可溶性淀粉含量和淀粉糊化度呈降低趋势，Ash、CP、NDF、ADF 含量在储存期间均没有显著变化。

② 使用高性能阻隔膜包装新制蒸汽压片玉米能够有效延缓蒸汽压片玉米脂肪酸酸败，抑制霉菌生长，使新制蒸汽压片玉米安全储存至 56 d。

③ 高性能阻隔膜能有效延长新制蒸汽压片玉米的储存时间，减少蒸汽压片玉米加工过程中烘干造成的损失，在产业上有较大的推广前景。

参考文献

[1] 魏曼琳,孙德成,杨文华,等.蒸汽压片玉米对肉牛营养物质消化代谢的影响研究进展[J].饲料工业,2014,35(7):48–51.

[2] 辛杭书,许曾曾,张跃文,等.蒸汽压片技术对玉米营养价值及奶牛饲用效果的影响[J].中国畜牧杂志,2006,42(10):57–60.

[3] 袁廷杰,刘巧香,邓露芳,等.蒸汽压片玉米加工工艺及质量评价方法的研究进展[J].中国畜牧兽医,2014,41(7):112–117.

[4] FERRARETTO L F,CRUMP P M,SHAVER R D.Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake,digestion,and milk production by dairy cows through a meta-analysis[J].Journal of Dairy Science,2013,96(1):533–550.

[5] 马星光,李胜利,孙海洲.蒸汽压片玉米和颗粒玉米及其 TMR 日粮体外产气和发酵参数的测定[J].畜牧与饲料科学,2014,35(5):34–36.

[6] CORONA L,OWENS F N,ZINN R A.Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle[J].Journal of Animal Science,2006,84(11):3020–3031.

[7] 张亚伟,李德勇,周涛,等.蒸汽压片玉米中添加不同比例尿素对其防霉效果的影响[J].中国畜牧杂志,2015,51(增刊):151–154.

[8] 李泽洪,马海杰,吴克刚,等.肉桂精油防控玉米霉变的研究[J].安徽农业科学,2015,43(7):307–309.

[9] MANSO S,CACHO-NERIN F,BECERRIL R,et al.Combined analytical and microbiological tools to study the effect on *Aspergillus flavus* of cinnamon essential oil contained in food

packaging[J].Food Control,2013,30(2):370–378.

[10] 雷晓娅,陈代文,毛湘冰,等.自然霉变玉米对仔猪肠道微生态的影响[J].动物营养学报,2011,23(10):1790–1799.

[11] JIA R,MANG Q G,FAN Y,et al.The toxic effects of combined aflatoxins and zearalenone in naturally contaminated diets on laying performance,egg quality and mycotoxins residues in eggs of layers and the protective effect of *Bacillus subtilis* biodegradation product[J].Food and Chemical Toxicology,2016,90:142–150.

[12] MACIOROWSKI K G,HERRERA P,JONES F T,et al.Effects on poultry and livestock of feed contamination with bacteria and fungi[J].Animal Feed Science and Technology,2007,133(1/2):109–136.

[13] 栾建美,朱云,艾鹏.玉米有机酸防霉保湿技术的研究进展[J].粮食与食品工业,2013,20(4):100–103.

[14] 罗超,李逢慧,程天印,等.丙酸、丙酸钙对饲料霉变效果的比较[J].湖南畜牧兽医,2008(2):12–13.

[15] 吴素花,董柏凤,旷义文.甲酸类防霉剂对玉米的防霉效果及酒精发酵的影响[J].酿酒科技,2014(7):72–74.

[16] XU X,WANG H L,LI P,et al.A comparison of the nutritional value of organic-acid preserved corn and heat-dried corn for pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2016,214:95–103.

[17] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:26–81.

[18] 全国饲料工业标准化技术委员会.GB/T 24318—2009 杜马斯燃烧法测定饲料原料中总氮含量及粗蛋白质的计算[S].北京:中国标准出版社,2009.

[19] 熊易强.饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定[J].饲料工业,2000,21(3):30–31.

[20] 中国农业科学院油料作物研究所.NY/T 2333—2013 粮食、油料检验 脂肪酸值测定[S].北京:中国农业出版社,2013.

[21] 魏金涛,张妮娅,齐德生,等.四种常用饲料原料生霉后品质变化规律研究[J].中国粮油学报,2007,22(5):119–124.

[22] BARTOV I,PASTER N,LISKER N.The nutritional value of moldy grains for broiler chicks[J].Poultry Science,1982,61(11):2247–2254.

[23] 国家粮食局.GB/T 20570-2006 玉米储存品质判定规则[S].北京:中国标准出版社,2006.

[24] 胡元森,王改利,李翠香,等.玉米储藏期霉菌活动及玉米主要品质变化研究[J].河南工业大学学报:自然科学版,2010,31(3):16–19.

[25] 齐德生,于炎湖,刘耘,等.霉变豆粕品质改变的研究[J].粮食与饲料工业,1999(1):25–26.

[26] 黄亚宽.不同脂肪水平及水分条件下饲料生霉及品质变化规律研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2013.

[27] 中华人民共和国卫生部.GB/T 2761—2011 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].北京:中国标准出版社,2011.

[28] TRALAMAZZA S M,BEMVENUTI R H,ZORZETE P,et al.Fungal diversity and natural occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in freshly harvested wheat grains from Brazil[J].Food Chemistry,2016,196:445–450.

[29] ZHENG W L,PAN S Y,WANG G G,et al.Zearalenone impairs the male reproductive system functions via inducing structural and functional alterations of sertoli cells[J].Environmental Toxicology and Pharmacology,2016,42:146–155.

[30] GAJĘCKA M,SŁAWUTA P,NICPOŃ J,et al.Zearalenone and its metabolites in the tissues of female wild boars exposed *per os* to mycotoxins[J].Toxicon,2016,114:1–12.

[31] 江苏省微生物研究所.GB/T 13078.2—2006 饲料卫生标准 饲料中赭曲霉毒素 A 和玉米赤霉烯酮的允许量[S].北京:中国标准出版社,2006.

[32] 甄阳光,柏凡,张克英,等.我国主要饲料原料及产品中呕吐毒素污染分布规律研究[J].中国畜牧杂志,2009,45(8):21–24,28.

[33] ERIKSEN G S,PETTERSSON H.Toxicological evaluation of trichothecenes in animal feed[J].Animal Feed Science and Technology,2004,114(1/2/3/4):205–239.

[34] 农业部饲料质量监督检验测试中心(沈阳).GB 13078.3—2007 配合饲料中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的允许量[S].北京:中国标准出版社,2007.

[35] 中华人民共和国农业部.NY/T 1968—2010 玉米干全酒糟(玉米 DDGS)[S].北京:中国农业出版社,2011.

[36] FDA.Guidance for industry and FDA:advisory levels for deoxynivalenol (DON)in finished wheat products for human consumption and grains and grain by-products used for animal feed[R].Maryland:U.S. Food and Drug Administration,2010.

[37] 陈茹.国内外饲料真菌毒素限量规定及评析[J].中国饲料,2013(17):38–42.

Anti-Mildew Effects of High Performance Barrier Films on Fresh Steam-Flake Corn during Storage

ZHOU Tao LI Deyong ZHANG Yawei HE Liwen MENG Qingxiang ZHOU Zhenming*

(State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, *China)*

Abstract: In this test, we stored fresh steam-flaked corn with general plastic films and high performance barrier films (HPBF), and determinate the degree of mildew at different storage time points to discuss the feasibility of using the HPBF to store fresh steam-flaked corn. Taking the general plastic films, but not seal, store fresh steam-flaked corn as the unseal general plastic films (USGPF) group; the sealed general plastic films store fresh steam-flaked corn as the general plastic films (SGPF) group; and the sealed HPBF store fresh steam-flaked corn as the HPBF group. After storing 0, 7, 14, 21, 28, 42 and 56 days, the sensory evaluation, chemical component, fatty acid value and the content of aflatoxin B_1 (AFB_1), zearalenone (ZEA) and deoxynivalenol (DON) were determined. The results showed as follows: 1) with extension of storage time, the USGPF group and SGPF group appeared mildew phenomenon in succession, but the HPBF group didn't appear mildew phenomenon after stored 56 days. 2) With the increased of storage days, the ether extract, soluble starch content and starch gelatinization showed a decreasing trend among different films treatment, but there were no significant differences on the contents of ash, crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber (P>0.05). 3) The store time had extremely significant effect on fatty acid value (P<0.01). Compared with the other groups, the growth of the HPBF groups' fatty acid value was slower, and its fatty acid value is 10.54 mg/kg after storing 56 days. 4) During the storage, the AFB_1 and ZEA content kept on increasing with the store time (P<0.05), but there were no significant change in the content of DON during the storage (P>0.05). After storing 56 days, the AFB_1, ZEA and DON content of the USGPF group, SGPF group and HPBF group were 1.03, 0.73, 0.01 μg/L and 181.13, 170.49, 148.19 μg/L and 1.23, 1.23, 1.20 μg/mL, respectively. In conclusion, the HPBF can inhibit the growth of mildew, slow fatty defeat, and safety storage the fresh steam-flaked corn for 56 days.

Key words: high performance barrier films; fresh steam-flaked corn; sensory evaluation; chemical component; fatty acid value; mycotoxin content

*Corresponding author, associate professor, E-mail：zhouzm@cau.edu.cn (责任编辑　武海龙)